

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
“FEDERICO II”

FACOLTÀ DI AGRARIA

**Dottorato in Valorizzazione e Gestione delle risorse
agro- forestali**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA AGRARIA E AGRONOMIA
DEL TERRITORIO

**Gestione dell'irrigazione in serra per la coltivazione
del basilico in Tunisia**

Tutor

Chi.mo Prof. M.Fagnano

Co-Tutor

Chi.mo Prof. G.Barbieri

Dottorando

Dott.Francesco de Filippis

INDICE	pag.
1. INTRODUZIONE	3
1.1. Origine e diffusione della salinizzazione dei suoli e delle acque	3
1.2. Effetti delle salinità sui sistemi agricoli	4
1.3. Tecniche di gestione delle acque saline	9
1.4. Obiettivi della tesi	16
2. MATERIALI E METODI	20
2.1. Analisi agroclimatica regione di kairouan	20
2.2. Descrizione aziendale	25
2.3. Descrizione del modello simbil	37
2.4. Impostazione della prova	39
3. RISULTATI	40
3.1. Calibrazione del modello	40
3.2. Valutazione dei fabbisogni di lisciviazione	41
3.3. Applicazione del modello e confronto con i dati aziendali	43
3.4. Analisi statistiche e validazione del modello	44
4. CONCLUSIONI	46
5. BIBLIOGRAFIA	47

1. INTRODUZIONE

1.1. Origine e diffusione della salinizzazione dei suoli e delle acque.

Uno dei problemi più urgenti per l'agricoltura delle aree costiere Mediterranee è l'accumulo di salinità nei terreni irrigui: si stima che circa un terzo delle terre irrigue nel mondo siano affette da eccessivi carichi salini, e che ogni anno 10 milioni di ettari irrigati siano mediamente abbandonati a causa di questo problema ([Flowers et al., 1986](#)). Previsioni particolarmente pessimistiche arrivano a prefigurare che entro i prossimi 25 anni la salinizzazione causerà la perdita del 30% degli attuali terreni agrari, valore destinato a salire fino al 50% entro il 2050 ([Altman, 1999](#)). Queste proiezioni appaiono tanto più preoccupanti qualora si consideri che la popolazione umana sta crescendo a un ritmo tale che nel 2050 avremo superato i 10 miliardi di individui, mentre l'incremento annuo della produzione agricola ammonterebbe a solo l'1,8% ([Altman, come sopra](#)).

La salinizzazione è inoltre uno dei principali fenomeni alla base del processo di desertificazione dei terreni, processo che nelle sue forme più intense interessa oltre 100 Paesi minacciando la sopravvivenza di più di 1 miliardo di persone. La situazione è particolarmente drammatica nelle zone aride, dove circa il 70% delle aree, corrispondenti a 1/4 dell'intera superficie terrestre, risulta minacciata. Ma il problema è largamente presente anche nelle zone temperate: da stime effettuate dalla Unione Europea risulta che il 27% del territorio italiano è esposto a un elevato rischio di erosione; le regioni della Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia e Sardegna mostrano un processo di desertificazione già avanzato ([UNCCD, Roma, 1997](#)).

L'accumulo di sali nei suoli è un processo dipendente dalle varie condizioni ecologiche regionali ([Zalidis et al., 1999](#)). In particolare, tale fenomeno è regolato principalmente dal bilancio idrico dell'area e dal rapporto fra evapotraspirazione e drenaggio ([Richards, 1989](#)). Questi ultimi sono a loro volta controllati dai fattori ambientali abiotici (clima, geomorfologia, idrologia, ecc...) e biotici (flora e fauna). Le attività umane possono modificare profondamente queste componenti naturali,

incrementando direttamente o meno il fenomeno della salinizzazione del suolo (Misopolinos, 1990).

Anche nell'area mediterranea, caratterizzata da forte domanda evapotraspirativa, scarsità di piogge dilavanti e frequenti intrusioni marine nelle falde costiere, le acque saline ($EC > 1 \text{ dS m}^{-1}$) rappresentano una risorsa già ora utilizzata negli ambienti più poveri di acqua dolce, come Africa del nord e Medio oriente (Katerji *et al.*, 2002). Anche molte aree delle coste settentrionali del Mediterraneo si stanno confrontando con la progressiva salinizzazione delle proprie risorse idriche e purtroppo il continuo emungimento, con subsidenza delle falde e intrusioni marine, unitamente agli effetti solo in parte prevedibili dei cambiamenti climatici, rendono in futuro sempre più probabile il ricorso a risorse idriche di qualità sempre più scadente anche nelle aree costiere di Grecia, Italia, Francia e Spagna.

1.2. Effetti delle salinità sui sistemi agricoli

La salinizzazione di un terreno agricolo può essere dovuta a due fenomeni: uno primario, indotto dalla costituzione del terreno, e uno secondario, legato all'applicazione intensiva di alcune tecniche colturali tra cui in particolare l'irrigazione con acque saline (Szabolcs, 1994).

Mentre il primo tipo di fenomeno è tipico dei terreni aridi e semiaridi, dove la rapida evaporazione della soluzione circolante lascia un accumulo di sali negli strati più superficiali, il secondo si verifica prevalentemente nelle aree costiere. Il motivo è che lo sfruttamento intensivo, unito agli scarsi apporti idrici, causa alle acque di falda un aumento del contenuto di sali per infiltrazione di acqua marina. Da ciò consegue un accumulo di sali nel terreno e l'insorgenza nelle specie coltivate di stress, che in definitiva portano a una riduzione della produzione (Maas & Hoffman, 1977), accompagnata da precisi sintomi di tipo morfologico e fisiologico.

Gli effetti negativi della salinizzazione sul suolo sono in prevalenza due: la deflocculazione delle argille e l'innalzamento del pH.

Alte concentrazioni di sodio portano ad un suo adsorbimento sulle superfici dei colloidi argillosi ed organici al posto di calcio e magnesio. Essendo il catione Na^+

monovalente, una volta adsorbito dalle particelle, ne neutralizza le cariche negative, impedendo così l'aggregazione con altre particelle ed esercitando un'azione deflocculante sulla struttura del terreno, con conseguente compattamento (Richards, 1954; Kovda, 1977). Si generano così problemi di asfissia radicale, dovuti alla minor permeabilità e al peggior drenaggio; inoltre questa peggiore struttura del terreno favorisce a sua volta l'accumulo di sali, portando a un ulteriore aggravamento del problema.

Un altro effetto dell'elevata concentrazione di sodio riguarda il pH, il cui valore tende ad alzarsi, in modo tale che diversi macro e microelementi si insolubilizzano, restando nella soluzione circolante in concentrazioni molto basse e poco disponibili per le piante (Kovda, 1977).

La sintomatologia che si riscontra in piante sensibili o mediamente tolleranti (non alofite) cresciute su substrati eccessivamente salini è tipica, e generalizzabile a molte specie. I principali sintomi morfologici riguardano alterazioni più o meno evidenti della colorazione delle foglie, e un visibile ispessimento della lamina fogliare (Longstreth & Nobel, 1979; Nolan *et al.*, 1982); inoltre si possono manifestare, sempre sulla foglia, bruciature marginali e necrosi (Bernstein, 1975; Nolan *et al.*, 1982). Se le condizioni saline perdurano, si assiste a precoce filloptosi, con conseguente accorciamento del ciclo biologico e produttivo (Barbieri & De Pascale, 1992).

A tali sintomi, in piante non tolleranti, si collegano alterazioni del metabolismo quali un aumento della resistenza stomatica e della resistenza al movimento dell'acqua all'interno dei tessuti (Maas & Niemann, 1978; Adams & Ho, 1989), nonché una riduzione dei ritmi di assimilazione di CO₂ (O'Leary, 1984). Inoltre da alcuni Autori è stata riscontrata una diminuzione della quantità di fitoregolatori come gibberelline e citochinine, specialmente a livello fogliare (Zeroni, 1988).

Le cause dei sintomi sopraelencati sono gli effetti negativi esercitati dai sali su alcuni processi fisiologici delle piante e sul terreno.

Gli effetti negativi dell'eccesso di ioni nella soluzione circolante sul sistema suolo-pianta si articolano, per quanto riguarda la pianta, essenzialmente in tre fenomeni (Luttge *et al.*, 1984; Pitman, 1984):

- Un incremento del potenziale osmotico dell'acqua del terreno, con riduzione dell'acqua disponibile per l'assorbimento da parte delle piante. Gli effetti che si producono sono paragonabili a quelli di un deficit idrico (siccità fisiologica) (Walter, 1961; Yeo, 1983; Barbieri & De Pascale, 1992). Questo fenomeno è anche detto *water stress*; la durata di tale fenomeno può risultare critica per la crescita di specie sensibili, ma può avere un effetto transitorio su quelle più tolleranti (Greenway & Munns, 1980).

- Un aumento nei tessuti della concentrazione di alcuni ioni, in particolare del Na, che hanno un effetto tossico e denaturante nei confronti degli enzimi del citoplasma, inibendo la sintesi proteica al livello degli acidi nucleici (Bernstein, 1961; Bernstein, 1975). Questo porta a un'alterazione della struttura delle membrane cellulari e dell'integrità funzionale dell'organo in maniera irreversibile; si determina una riduzione di crescita iniziale (riduzione dell'area fogliare, internodi accorciati) e successivamente, nei casi più gravi, imbrunimento, necrosi diffuse e morte dei tessuti. Questo fenomeno è detto *salt stress*.

- Un'alterazione nel bilancio dell'assorbimento di ioni da parte della pianta, con conseguenti squilibri nella concentrazione di elementi nutritivi all'interno dei tessuti (*ion imbalance stress*). Il motivo è l'antagonismo tra gli ioni, in particolare Na⁺ contro K⁺ e Ca⁺⁺, e Cl⁻ contro NO₃⁻ (Lynch *et al.*, 1982; Flowers & Lauchli, 1983).

Recentemente è stato proposto un modello di risposta bifasica della crescita delle piante alla salinità (Munns *et al.*, 1995). Sulla base di questa ipotesi la crescita risulta inibita inizialmente dalla ridotta assunzione di acqua a livello radicale, causata dal basso potenziale idrico del terreno. In questa fase la pianta va incontro ad uno stress osmotico la cui entità è indipendente dal tipo di sale, ma dipendente dalla pressione osmotica da esso esercitata.

Successivamente l'ulteriore inibizione della crescita è dovuta ad uno stress di tipo tossico che si manifesta prima nelle foglie vecchie, che muoiono a causa del rapido incremento della concentrazione salina nelle pareti cellulari o nel citoplasma, quando i vacuoli non sono più in grado di contenere gli ioni tossici. Quando la perdita delle foglie più vecchie è superiore alla neosintesi, si manifesta un calo nella superficie fotosintetizzante e quindi di disponibilità di assimilati con consistenti riduzioni di crescita.

Effetto finale delle alterazioni causate dalla salinità è, nelle specie agrarie, l'abbassamento della produzione. Questo problema si è rivelato tuttavia un valido criterio per la valutazione della tolleranza di varie specie, tramite confronti diretti. Si intende **produzione relativa** la resa di una coltura allevata in condizioni di salinità, espressa come frazione della sua resa in condizioni normali: questo parametro è importante, perché sulla sua base si possono confrontare colture le cui produzioni sono espresse in differenti unità.

La relazione tra salinità dell'acqua (o del suolo) e resa relativa viene espressa con l'uso di due parametri, secondo la formula di Maas & Hoffman (1977):

$$Pr = 100 - B * (CE - A)$$

dove

Pr = produzione relativa per una data CE dell'estratto saturo o dell'acqua di irrigazione

A = soglia di tolleranza espressa in dS/m: indica il livello massimo di salinità tollerata senza avere perdita della produzione

B = pendenza espressa in % per dS/m: rappresenta la riduzione percentuale di prodotto per unità di incremento di salinità oltre la soglia

CE = conducibilità dell'estratto saturo del terreno o dell'acqua di irrigazione, A e B sono parametri specifici per ciascuna coltura, e descrivono il suo comportamento nei confronti della salinità: il valore di A indica quanto rapidamente, all'aumentare del carico salino, si innesca la risposta (in termini di abbassamento di produzione) alla salinità, mentre B indica quanto sensibile è l'abbassamento percentuale. L'applicazione del modello di valutazione della risposta alla salinità proposto da Maas & Hoffman ha consentito di ottenere una classificazione della tolleranza alla salinità di alcune specie orticole (Tab.1).

Tab.1: Tolleranza alla salinità di specie ortive (dati individuati secondo il modello di Maas & Hoffman, 1977). (S = sensibili; MS = moderatamente sensibili; MT = moderatamente tolleranti; T = tolleranti).

Coltura	Estratto saturo del suolo		Acqua irrigua	
	Soglia (dS/m)	Pendenza (%)	Soglia (dS/m)	Pendenza (%)
Anguria.....MS	-	-	-	-
Asparago.....T	4,1	2,0	2,7	3,0
Bietola rossa.....MT	4,0	9,0	2,7	13,5
Carciofo.....MT	4,8	10,7	2,7	14,4
Carota.....S	1,0	14,0	0,7	21,0
Cavolfiore.....MS	-	-	-	-
Cavolo broccolo.....MS	2,8	9,2	1,9	13,8
Cavolo cappuccio.....MS	1,8	9,7	1,2	14,6
Cavolo di Bruxelles.....MS	-	-	-	-
Cetriolo.....MS	2,5	13,0	1,7	19,5
Cipolla.....S	1,2	16,0	0,8	24,0
Fagiolo.....S	1,0	19,0	0,7	28,5
Fragola.....S	1,0	33,0	0,7	49,5
Lattuga.....MS	1,3	13,0	0,9	19,5
Mais dolce.....MS	1,7	12,0	1,1	18,0
Melanzana.....MS	-	-	-	-
Melone.....MS	2,2	7,3	1,5	11,0
Patata.....MS	1,7	12,0	1,1	18,0
Peperone.....MS	1,5	14,0	1,0	21,0
Pisello.....MS	-	-	-	-
Pomodoro.....MT	2,5	9,9	1,7	15,0
Rapa.....MS	0,9	9,0	0,7	13,5
Ravanello.....MS	1,2	13,0	0,8	19,5
Sedano.....MS	1,8	6,2	1,2	9,3
Spinacio.....MS	2,0	7,6	1,3	11,4
Zucchini.....MT	4,7	9,4	3,1	14,1

1.3. Tecniche di gestione delle acque saline

Per la gestione delle acque saline è necessario tenere in considerazione 3 aspetti: il sistema colturale e la definizione delle colture più tolleranti alla salinità nelle diverse condizioni ambientali; la limitazione dell'accumulo di sali nel suolo e lo studio della dinamica dei flussi nel profilo; l'uso di tecnologie avanzate di irrigazione e drenaggio (Hamdy, 2002).

E' importante però tenere presente che molti interventi utili a scala aziendale, trasferiscono il problema e a scala comprensoriale, determinando l'allontanamento dei sali dalla rizosfera ed il loro trasferimento nelle falde o nei corpi acquiferi superficiali. In altre parole, queste tecniche trasferiscono il problema dalla scala aziendale alla scala comprensoriale trasformando l'attività agricola da oggetto a soggetto dell'inquinamento salino.

Negli ambienti mediterranei nei quali è sempre presente una stagione umida, i surplus idrici e le piogge dilavanti invernali possono trasportare i sali al di sotto della zona esplorata dalle radici. In Italia meridionale, la salinità del suolo irrigato con acque saline ($EC_w = 15.7 \text{ dS m}^{-1}$) arrivava a fine stagione irrigua fino a 20 dS m^{-1} , per ritornare intorno a 7 dopo stagione piovosa (Postiglione *et al.*, 1995a). A tale proposito, un'abbondante irrigazione che riporti il terreno a capacità di campo prima dell'autunno è ritenuta utile per migliorare l'azione dilavante delle piogge.

Nelle zone più aride invece, la piovosità invernale non è considerata sufficiente a garantire la lisciviazione dei sali accumulati con l'irrigazione estiva (Fierotti *et al.*, 1999). In queste condizioni quindi tutti gli interventi che facilitano l'infiltrazione dell'acqua, come le lavorazioni profonde, o l'aggiunta di sostanza organica per migliorare la struttura, consentono di ridurre i danni da salinità. Particolare attenzione deve anche essere posta ad evitare la formazione di suole di lavorazione che rallentino la conducibilità idrica favorendo l'accumulo di sali sottosuperficiale.

Altre tecniche che possono ridurre i danni derivati dall'acqua salina, riguardano la pacciamatura, che limitando l'evaporazione, riduce anche l'accumulo di sali in superficie; l'alternanza tra colture più tolleranti (estive in irriguo) e colture più sensibili (invernali in asciutto). Avendone la possibilità (sorgenti con differente

livello di salinità), è anche consigliato alternare gli interventi irrigui con acque più saline e con acque meno saline oppure riservare quelle di qualità migliore, per le prime fasi del ciclo che sono le più sensibili alla salinità oppure per l'effettuazione di irrigazioni dilavanti (Sharma e Rao, 1998; Losavio *et al.*, 1999; Hamdy, 2002). Ad esempio, disponendo di acque con Ec di 16 e 0.5 dS m⁻¹, buoni risultati sono stati ottenuti con 2 irrigazioni saline alternate ad una con acqua di buona qualità (Singh *et al.*, 1996). Comunque, buoni risultati sono stati ottenuti su orzo anche miscelando acque di qualità differente (Al-Tahir *et al.*, 1997).

Considerando che alte temperature radicali e elevata radiazione solare riducono la sensibilità allo stress salino, è anche consigliato di utilizzare le acque più saline nelle giornate calde e soleggiate, riservando quelle di migliore qualità, per le giornate fresche e nuvolose (Dalton *et al.*, 2001).

Per quanto riguarda le tecniche di irrigazione, gli obiettivi da perseguire sono evitare la concentrazione dei sali nella soluzione circolante e trasportare i sali al di sotto della zona esplorata dalle radici. Nel primo caso si può intervenire agendo sui turni e per alcuni aspetti anche scegliendo i metodi più idonei, nel secondo caso bisogna scegliere i volumi adatti che garantiscono una sufficiente lisciviazione. Per la gestione dell'irrigazione però bisogna tenere presente che non sono disponibili dati sui consumi idrici di tutte le colture in ambiente salino. In particolare bisogna trovare nuove funzioni che correlano la produzione ai consumi idrici. A tale proposito la review già citata di Hamdy (2002) elenca numerosi approcci che sono stati sviluppati per simulare la risposta produttiva di differenti colture a differenti condizioni saline. Qui si ricorderà solo il modello stagionale di Letey *et al.*, (1985) che combinò le relazioni produzione vs. ET, produzione vs. salinità della zona radicale e salinità della zona radicale vs. fabbisogno di lisciviazione in una equazione per correlare produttività con quantità di acqua ad una certa salinità, ed il modello dinamico di van Genuchten (1987) che sviluppò funzioni che simulavano la risposta produttiva in relazione a differenti schemi irrigui.

Turni ravvicinati, mantenendo il terreno sempre ad un'umidità alta vicino alla capacità di campo, evitano che la soluzione circolante si concentri ulteriormente e che il potenziale matriciale scenda troppo (Cavazza *et al.*, 1984; Al-Tahir *et al.*, 1997). In questo caso però le radici rimangono più superficiali e la salinità dello

strato superficiale aumenta, sia per l'evaporazione che per l'assorbimento radicale stesso. Inoltre l'ET aumenta nel caso di irrigazioni più frequenti e questo porta ad un aumento degli apporti idrici e con essi anche ad un aumento delle somministrazioni di sali ([van Shilfgraade et al., 1974](#)). Altri Autori, infatti consigliano l'adozione di turni meno ravvicinati ([Postiglione et al., 1995a](#)). In ogni caso in differenti prove non è emerso un chiaro effetto del turno irriguo sulla risposta delle colture ad irrigazione con acque saline ([Barbieri et al., 1994](#)) ed in alcuni casi sono segnalate produzioni più basse con turni più frequenti ([Bernstein e Francois 1975](#); [Hamdy, 1990](#)).

Naturalmente, per l'adozione di turni ravvicinati deve essere valutato anche l'aspetto economico della pratica irrigua. Infatti, nei metodi automatizzabili o con impianti fissi il numero di interventi irrigui non comporta un aumento dei costi; invece con gli impianti mobili (es. aspersione con "rotolone") un aumento del numero di interventi non è economicamente sostenibile.

Per quanto riguarda la scelta del metodo irriguo, inoltre, bisogna evitare quei metodi che determinano un accumulo di sali nelle zone dove l'attività radicale è più intensa e quelli che creano problemi di drenaggio o bagnano le foglie aggravando così i danni da stress salino ([Hamdy, 2002](#); [Pereira et al., 2002](#)).

Il metodo più idoneo è senz'altro quello per microportata, perché consente di modulare con precisione turni e volumi e perché i sali trasportati dall'acqua si accumulano alla periferia del fronte di umettamento ed in superficie tra le due ali gocciolanti, e quindi in zone non direttamente interessate dalle radici (Fig.1). L'unico problema è che alla fine della stagione irrigua il terreno presenta una notevole disformità, per cui potrebbero esserci problemi per le successioni strette. Infatti, è necessario che la salinità dell'appezzamento si uniformi o con l'irrigazione per sommersione o per aspersione o, meglio con le precipitazioni.

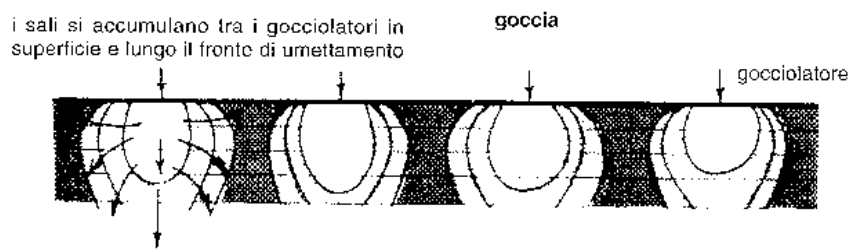


Figura 1. Accumulo di Sali nell'irrigazione a goccia. (da [Lo Savio et al., 1999](#)).

I metodi di infiltrazione da solchi sono anche utilizzabili con acque saline, purché i solchi siano modellati in modo che le piante si trovino nella concavità del solco, sulla pendenza dell'arginello, oppure nel caso di file binate con le due file della bina molto distanziate, in quanto i sali tendono ad accumularsi al centro tra due solchi nella parte più alta (Fig 2).

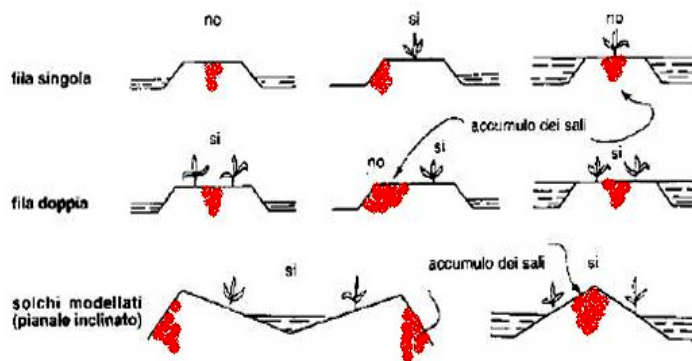


Figura 2. Accumulo dei sali e disposizione delle piante nell'irrigazione per infiltrazione da solchi. (da [Lo Savio et al., 1999](#)).

L'irrigazione a pioggia, bagnando le foglie può determinare effetti fitotossici diretti ([Helalia et al., 1996](#)), inoltre determina un aumento della concentrazione salina dall'alto verso il basso del profilo, per cui se non sono adottati volumi tali da trasportare i sali al di sotto della rizosfera, possono danneggiare le colture. In questi casi, oltre ad effettuare gli interventi irrigui la mattina presto, è opportuno utilizzare le colture con fogliame più resistente (es. cavolo, barbabietola, cotone, girasole).

La scelta del volume irriguo deve essere fatta in modo da garantire il fabbisogno di lisciviazione (LR). A tale proposito, però bisogna tenere presente che aumentando i volumi di irrigazione, aumenta anche la quantità di sali apportati, per cui in alcuni casi potrebbe non essere consigliabile applicare volumi liscivianti ad ogni intervento irriguo, ma solo quando la salinità supera un certo livello. In particolare bisognerebbe evitarli durante i periodi di picco di domanda, in quanto oltre all'aumento dei consumi di acqua, si apporterebbero maggiori quantità di sali. In definitiva sarebbe più consigliabile applicare i volumi liscivianti nei periodi di minore fabbisogno idrico, durante la stagione più fresca e non durante l'estate; utilizzare metodi a bassa portata perché il flusso insaturo è più efficiente del flusso in terreno saturo; applicarlo a colture più resistenti che hanno un minore fabbisogno di lisciviazione; curare le lavorazioni per evitare ruscellamento e flussi preferenziali attraverso le fessure del suolo ([Hamdy, 2002](#)).

Uno dei primi metodi per definire il fabbisogno di lisciviazione, messo a punto negli USA nel 1954 e riportato da [Caliandro \(1999\)](#), calcolava l'LR come frazione percentuale rispetto al volume normale di adacquamento sulla base dei rapporti:

$$LR = EC_w / EC_{dw} = D_{dw} / D_w$$

dove il rapporto tra la EC dell'acqua irrigua e dell'acqua di drenaggio si pone eguale al rapporto tra quantità di acqua di drenaggio e quantità di acqua irrigua.

[Rhoades nel 1974](#) suggerì di calcolare l'LR in funzione del metodo irriguo: per i metodi che non consentono turni brevi (es. gravimetrici)

$$LR = EC_w / (5 EC_e - EC_w)$$

per i metodi che permettono turni brevi (es. aspersione o microportata)

$$LR = EC_w / 2 EC_{e \max}$$

dove EC_w si riferisce all'acqua di irrigazione, E_{Ce} e $E_{Ce\ max}$ all'estratto da pasta satura in corrispondenza di riduzioni di produzione del 10 e del 100% rispettivamente.

Un altro metodo riferito da [Losavio e coll. \(1999\)](#) calcola l'LR come rapporto tra l'acqua necessaria a dilavare i sali (D) e il volume di irrigazione (V_i) posti uguali al rapporto tra EC dell'acqua irrigua (EC_w) e quella massima del terreno tollerabile dalla coltura ($E_{Ce\ max}$):

$$LR = D / V_i = EC_w / E_{Ce\ max}$$

Una volta scelto il valore di LR dai dati di EC_{max} tollerabile dalla coltura, D si può ottenere dalla relazione:

$$D = [LR / (1-LR)] ET$$

La stima del fabbisogno di lisciviazione può essere anche derivata dall'abaco (Fig. 3) riportato sempre da [Losavio e coll. \(1999\)](#):

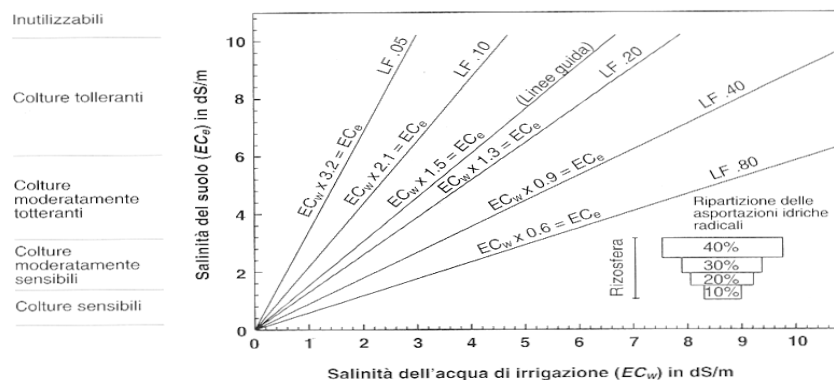


Fig. 3. Stima del fabbisogno di lisciviazione in funzione della salinità dell'acqua e del suolo.

Naturalmente l'applicazione dell'LR risulta inutile se si usano quei metodi la cui scarsa efficienza è determinata da perdite di acqua per percolazione (es. sommersione, scorrimento), oppure se si verificano precipitazioni dilavanti.

Ricerche condotte in Puglia, infatti, hanno dimostrato che negli ambienti con 300-400 mm di pioggia invernali, sufficienti a dilavare i sali accumulati durante la stagione irrigua, l'applicazione di volumi che garantiscono il fabbisogno di lisciviazione si rivela di scarsa utilità (Caliandro, 1999). Inoltre, volumi di irrigazione con effetto lisciviante non possono essere utilizzati se la falda non è abbastanza profonda, se il terreno presenta problemi di permeabilità, se vi sono strati sottosuperficiali che limitano la percolazione profonda (suola di lavorazione, discontinuità granulometriche). Nei casi in cui la falda non è sufficientemente profonda, è consigliabile un impianto di drenaggio con tubi posti al di sotto del franco di bonifica (generalmente 60-80 cm), con pendenza dello 0.15-0.30% e posti a distanza da ca. 10 m nei suoli argillosi fino a 30 m in quelli più sabbiosi.

Per quanto riguarda la protezione del suolo dai danni derivati dalla salinizzazione, è consigliata l'aggiunta di diretta di calcio sottoforma di gesso agricolo. Ad esempio in India è stata stimata la necessità di 2.73 t ha^{-1} di gesso per compensare i danni derivati dall'uso di $2000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ di acqua con 16.2 meq L^{-1} di Na (Singh *et al.*, 1996). Trattamenti con gesso consentono di ridurre la durezza della crosta e aumentano la stabilità degli aggregati (Mitchell *et al.*, 2000). Possono anche essere utilizzati acidi (es. acido solforico) o la stessa sostanza organica (es. letame, sovescio) che solubilizzano la calcite o il fosfato tricalcico e consentono di aumentare la presenza di Ca^{++} nel complesso di scambio, favorendo l'allontanamento del sodio e riducendone i danni alla struttura. In particolare, l'aggiunta di sostanza organica, consente di ottenere una serie di benefici: fornisce elementi nutritivi, svolge anche un'azione stabilizzante sul pH ed un'azione protettiva sulla stabilità degli aggregati strutturali, grazie alla frazione lipofila, che avvolge gli aggregati con un velo che limita l'ingresso di acqua e soluti impedendo quindi la deflocculazione (Piccolo *et al.*, 1997a).

1.4. Obiettivi della tesi

La risorsa idrica in Tunisia è per sua natura limitata e con una distribuzione spaziale ineguale. Infatti, costituisce un punto chiave per lo sviluppo attuale e futuro di tutto il paese. Da 3 decenni la politica idrica nazionale è basata sul trasferimento dai grandi bacini del nord e del centro verso le zone costiere e meridionali. La stima delle risorse disponibili si attesta intorno ai 4503 miliardi di m³, di cui 2700 sono acque superficiali e 1803 sotterranee ([Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydraulique, 1997](#)). In confronto agli altri paesi del Maghreb, tali risorse risultano scarse principalmente a causa delle ridotte dimensioni dei bacini e delle modeste precipitazioni.

La Tunisia è un esempio nella gestione efficace delle risorse idriche. Lo dice uno studio, realizzato dalla Banca mondiale, sull'acqua nel mondo arabo. Contano le antichissime tradizioni del paese: dagli acquedotti romani, passando per *Ibn Chabbat*, cui si deve un ingegnoso sistema d'irrigazione nelle oasi dello *Jerid*, fino alle recenti politiche di gestione delle acque. La relazione cita la strategia adottata per la gestione delle limitate risorse idriche, in particolare in materia di mobilitazione delle acque: circa l'88%, contro il 60% del 1990. Attualmente, il volume di acqua non supera i 4,8 miliardi di metri cubi l'anno, di cui 610 milioni poco rinnovabili, 1,5 milioni rinnovabili ogni anno a partire dagli strati sotterranei e 2,1 miliardi che scorrono ogni anno negli *uadi* (termine arabo per un corso d'acqua a regime irregolare e legato unicamente alle precipitazioni). Nelle zone desertiche, dove la mancanza di piogge può anche protrarsi per anni, l'*uadi* può scomparire e riprendere a scorrere nel proprio alveo alla ricomparsa delle piogge.

La ripartizione geografica delle varie fonti segnala che l'81% di queste acque è disponibile al Nord, l'11% al centro e l'8% al sud del paese. Il primo piano decennale di mobilitazione delle risorse idriche, (1990-2000) ha permesso la messa in atto di una rete coerente di lavori idraulici. Il secondo (2001-2011) riguarda la creazione di 29 grandi dighe, 223 dighe collinari, 825 laghi collinari, oltre alla realizzazione di lavori per la distribuzione delle acque, l'alimentazione degli strati sotterranei e la perforazione di pozzi d'esplorazione. Secondo Habib Echaib,

direttore delle risorse idriche al ministero dell'agricoltura, l'infrastruttura di base ha permesso di rispondere alla domanda d'acqua delle grandi zone urbane, in particolare nei periodi di siccità e di realizzare il programma nazionale di desalinizzazione e la strategia di economia delle acque d'irrigazione. Il programma presidenziale "la Tunisia di domani" si propone di garantire le necessità del paese a medio e lungo termine e quelle dei settori economici in caso di anni plurimi di siccità, migliorando la qualità dell'acqua potabile.

Il tasso d'approvvigionamento di acqua potabile è del 100% a livello urbano e al 90% nelle zone rurali. Il paese ha anche garantito le necessità dei diversi settori economici. Quasi 420 mila ettari irrigui sono stati così forniti di acqua attraverso un sistema d'irrigazione che permette di economizzare l'acqua. Lo studio della Banca mondiale evidenzia l'efficienza della politica per l'economia delle acque, per il trattamento delle acque di scarico, per la desalinizzazione dell'acqua di mare ed il suo sfruttamento per l'agricoltura, l'ambiente e il turismo. Raqya Laatiri, direttore dell'economia delle acque al ministero dell'agricoltura, ha affermato che i premi destinati all'economia d'acqua arrivano, dall'avvio del programma nel 1995, quasi a 400 milioni di dinari. La Tunisia ha sfruttato le nuove tecnologie e promosso la ricerca scientifica per controllare le risorse idriche non convenzionali, in particolare le acque trattate che possono essere utilizzate in molti settori industriali, turistici ed agricoli come pure per l'alimentazione della falda freatica. Oggi 100 stazioni di risanamento producono 225 milioni di metri cubi l'anno di acque trattate, di cui 40 milioni dedicati all'irrigazione. La superficie dei perimetri irrigati dalle acque trattate è stimata attualmente quasi ad 8000 ettari. Lo Stato ha programmato l'avvio della desalinizzazione dell'acqua marina a Djerba per il 2011, oltre alla programmazione di 3 stazioni a Sfax e di un'altra a Zarrat (Governatorato di Gabès). La ricerca evidenzia lo sforzo per garantire una migliore gestione delle risorse idriche. Così, anche per quelle in comune con l'Algeria e la Libia, sono state condotte azioni di valutazione e una strategia concordata per ottimizzarne la gestione. Per M.Echaib in Tunisia, a medio termine (2030) e a lungo termine (2050) si mira a raggiungere un tasso d'economia d'acqua del 30%, aumentare il contributo delle fonti d'acqua non convenzionali al 7% ed adattare l'agricoltura e gli ecosistemi ai cambiamenti climatici. La cultura dell'economia dell'acqua, necessita di una migliore

razionalizzazione del consumo e costituisce la sfida principale che tutte le Comunità devono raccogliere ([Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydraulique, 1997](#)).

Il settore agricolo Tunisino è in forte espansione, anche grazie all'insediamento di aziende esportatrici e alla possibilità di commercializzare prodotti agricoli presso i mercati europei, con prezzi notevolmente vantaggiosi rispetto ai costi di produzione locali.

La prova sperimentale è stata condotta presso l'azienda agricola *Ascheri Fresh Erbs* situata nella parte nord di Kairouan, nella zona di El Baten-Gatrania. La SAT aziendale è di 84 ha con una SAU di 60 ha, le unità lavorative fisse sono circa 300, ma l'azienda assume periodicamente anche lavoratori stagionali. La società, creata nel 2003, esporta erbe aromatiche che commercializza maggiormente presso la GDO italiana come prodotti di IV gamma. Inoltre, essendo certificata come azienda biologica, si seguono le linee direttive del regolamento CEE 2098/92 sull'Agricoltura Biologica. Le specie coltivate sono: basilico, prezzemolo, salvia, rosmarino, menta, timo, alloro, aneto, coriandolo, maggiorana, finocchietto, origano, dragoncello, melissa, erba cipollina, cerfoglio e santoreggia. Tra le suddette specie, indubbiamente è il basilico a ricoprire il maggiore interesse economico ed è anche la coltura su cui si sono concentrati gli investimenti maggiori. Infatti, la superficie aziendale è ripartita in: 15 ha di serre riscaldate in cui si coltiva esclusivamente basilico, 25 ha di pieno campo dove si trovano sia colture pluriennali, come salvia e rosmarino, sia stagionali, come il prezzemolo, e 20 ha di tunnel non riscaldati che vengono sfruttati per le restanti specie.

La gestione della risorsa idrica presso l'*Ascheri Fresh Erbs* è di cruciale importanza per l'ottenimento di buoni risultati produttivi. La particolarità di tutto il sistema irriguo è da attribuirsi al trattamento di desalinizzazione che subisce l'acqua successivamente all'estrazione dai pozzi aziendali. Grazie a quest'impianto si è ottenuto un miglioramento qualitativo dell'acqua d'irrigazione (EC_w 0,3 dS/m) che in caso contrario non poteva essere somministrata alle varie specie per l'eccessiva presenza di sali disciolti (EC_w 4-6 dS/m). Tuttavia, la desalinizzazione comporta un alto costo energetico e una quota di acqua di scarto altamente salina, che a sua volta

obbliga la società ad assumersi le spese di smaltimento. Per tali ragioni, le ricerche si sono focalizzate sullo studio dei parametri agronomici, idrologici e fisiologici in grado di stabilire un'accurata pratica irrigua che possa garantire un buon livello quali-quantitativo della produzione e al contempo una diminuzione dei tempi di funzionamento dell'impianto di desalinizzazione. In sintesi, massimizzare l'efficienza della risorsa idrica è di vitale importanza per il contesto in cui si opera per i seguenti motivi: riduzioni dei costi aziendali, risparmio energetico, riduzione dell'impatto ambientale, risparmio idrico. Quest'ultimo punto va particolarmente sottolineato: la regione è caratterizzata da una forte domanda evapotraspirativa e da un bilancio idrico mediamente negativo durante tutto l'anno. Inoltre le specie coltivate sono scarsamente tolleranti a condizione di stress idrico, che al contrario comporterebbe soprattutto danni qualitativi con conseguenti difficoltà di commercializzazione. In base a quanto esposto, essendo i fabbisogni colturali soddisfatti quasi esclusivamente dalle risorse idriche sotterranee, è evidente che un risparmio idrico aziendale si pone come obiettivo quello di limitare lo sfruttamento di tale risorsa al fine di garantirne una maggiore sostenibilità.

Le prove condotte si sono focalizzate, in primis, sullo studio dei fabbisogni idrici del basilico nei suoi diversi stadi di sviluppo ed in relazione sia al momento climatico che alle differenti caratteristiche del suolo e successivamente sulla verifica dell'approccio modellistico alla gestione dell'irrigazione, anche in ambienti salini, grazie al programma SIMBIL (Simulazione Bilancio idrico).

2. MATERIALI E METODI

2.1. Analisi agroclimatica regione di kairouan

La piana di Kairouan è una grande depressione di 100 km di lunghezza (nord-sud) et di 40 km di larghezza (est-ovest) (Fig. 4). Parte della catena *Naro-Charallil*, la regione di Kairouan è situata nella zona orientale dell'atlante tunisino, tra la Tunisia centrale e la Tunisia orientale. I rilievi sono dolci con pendenze generalmente orientate ovest-est da 40 a 150 m di altitudine. La piana era attraversata da 3 grandi fiumi (Nebhana, Merguellil, Zeroud) adesso controllati rispettivamente da 3 dighe (Nebhana, El huareb, Sidi Saad). Tuttavia, le risorse idriche più importanti sono costituite dalle riserve del sottosuolo che dagli anni '50 sono oggetto di numerosi studi. Tale acquifero, alimentato dai fiumi e dalle piogge, è sicuramente la fonte idrica maggiore di tutta la Tunisia centrale. Ciononostante i ritmi di prelevamento dell'ultimo decennio e le previsioni future, pongono grandi interrogativi sulla sostenibilità dell'agricoltura irrigua regionale.

La regione presenta un clima di tipo semi-arido caratterizzato da irregolarità dell'andamento pluviometrico (Fig.5 e 6). Infatti, la media pluviometrica annuale è di 300 mm, ma le differenze tra anno e anno variano da 150 a 1000 mm, con piogge invernali di minore intensità di quelle autunnali (Tab.2). Le piene dei fiumi, la scarsa piovosità e copertura vegetale sono indubbiamente dei fattori che rendono molto fragile l'ambiente naturale del territorio.

I dati climatici sono stati reperiti dalla stazione agro-metereologica aziendale, collegata al software PrivaOffice (www.priva.nl)

Fig.4 Regione di Kairouan (Tunisia)



Tab.2 Analisi Termo-Pluviometrica Regione di Kairouan

KAIROUAN										
Mesi	Tmax °C	Tmin °C	Escursione °C	T media °C	Pioggia mm	Rad mm/d	ETo mese mm/mese	ETo giorn. mm/d	Surplus P-Eto (mm/mese)	Deficit P-Eto (mm/mese)
G	17,2	6,7	10,5	11,9	31	8,3	57	1,8		-25,5
F	18,0	7,3	10,8	12,6	21	10,2	65	2,3		-44,4
M	20,7	9,1	11,6	15,1	36	12,8	102	3,3		-66,0
A	23,9	11,1	12,8	17,7	22	15	131	4,4		-109,7
M	29,5	15,4	14,1	22,3	36	16,5	177	5,7		-140,7
G	34,6	19,4	15,2	26,7	22	17	204	6,8		-182,0
L	37,2	21,7	15,5	29,5	9	16,8	223	7,2		-213,8
A	38,0	23,1	14,9	30,5	1	15,6	207	6,7		-206,8
S	32,4	20,5	11,9	26,4	49	13,6	143	4,8		-94,6
O	27,5	16,3	11,2	21,9	41	11,2	106	3,4		-64,6
N	22,3	11,5	10,8	16,9	27	9	71	2,4		-44,0
D	18,6	8,2	10,4	13,4	24	7,8	56	1,8		-32,1
ANNO				20,4	318		1542	4,2	Totale	-1224,1

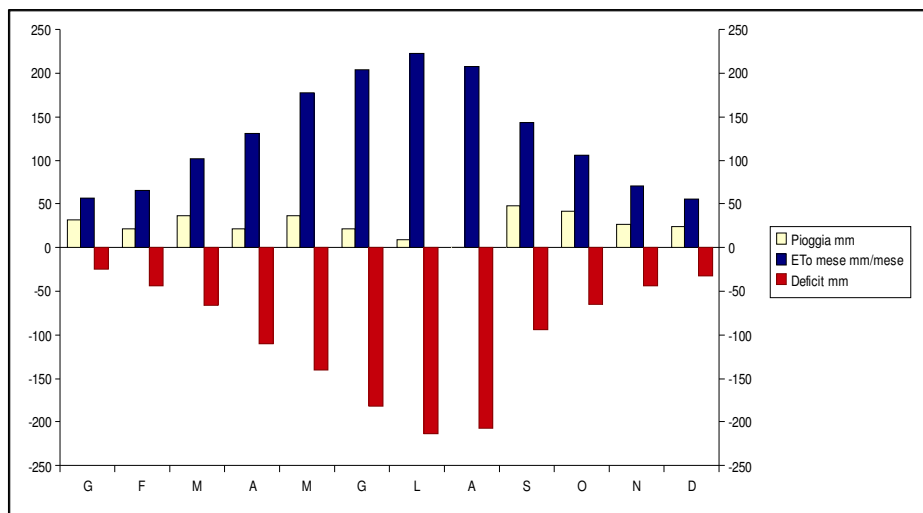


Fig.5 Andamento Termo-Pluviometrico Regione di Kairouan

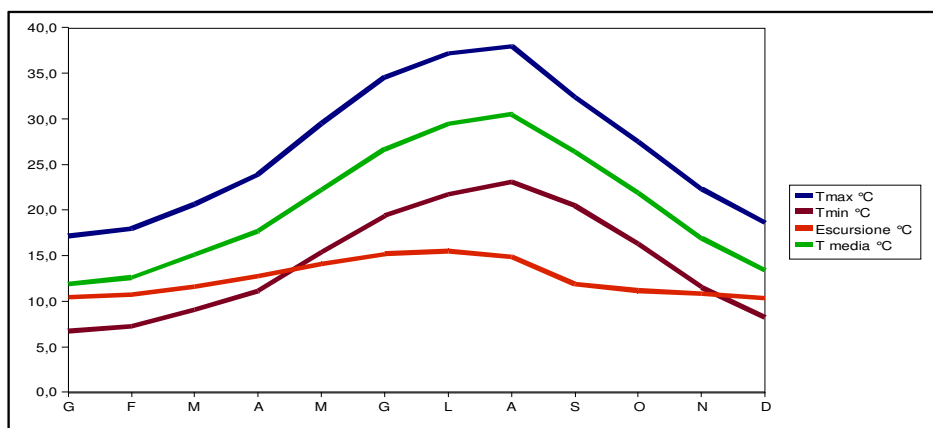


Fig.6 Analisi Temperature Regione di Kairouan

Per meglio comprendere le dimensioni del fenomeno, vengono qui esposti due tra i più importanti indici agro-climatici:

1. Pluviofattore di Lang. Tende ad esprimere l'umidità di una stazione attraverso il rapporto tra le precipitazioni annue in mm (P) e la temperatura media annua in °C (T):

$$F = P \backslash T(\text{annuo}) = P \backslash T(\text{mensile})$$

F	Definizione
<40	Arido
40-60	Semi-Arido
60-100	Temper.caldo
100-160	Temper.freddo
>160	Umido

Nella sua applicabilità è bene tenere conto che lo stesso valore del rapporto si può ottenere anche con cifre molto diverse e quindi per climi differenti, per cui è importante indicare accanto al valore ottenuto con l'impiego della formula la temperatura della stazione.

Tab.3 Indice Lang Regione di Kairouan

Mesi	T media °C	Pioggia mm	Lang	
G	11,9	31	31,6	arido
F	12,6	21	20,1	arido
M	15,1	36	28,8	arido
A	17,7	22	14,6	arido
M	22,3	36	19,5	arido
G	26,7	22	9,7	arido
L	29,5	9	3,8	arido
A	30,5	1	0,2	arido
S	26,4	49	22,0	arido
O	21,9	41	22,6	arido
N	16,9	27	19,0	arido
D	13,4	24	21,3	arido
ANNO	20,4	318	15,6	arido

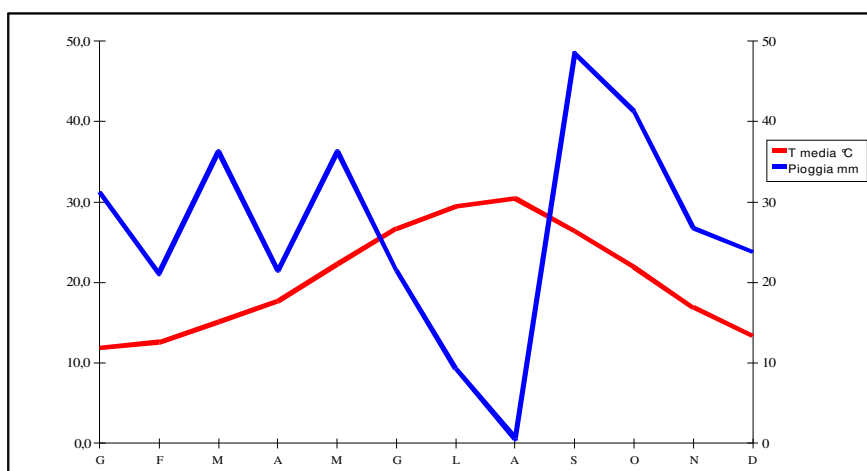


Fig.7 Andamento T media (°C) e piovosità (mm) Regione di Kairouan

2. Indice di aridità di De Martonne.

De Martonne ha proposto la seguente formula:

$$I.A. \text{ (indice di aridità)} = \frac{P}{T+10} \text{ (annuo)} = \frac{(12P)}{T+10} \text{ (mensile)}$$

I.A.	Definizione
<20	Irr.indispensabile
20-30	Irr.utile
>30	Irr.non necessaria

che indica con il termine di 'indice di aridità' e che rappresenta una modificazione dell'indice di Lang. Valori inferiori a 5 dell'indice di aridità stanno a indicare il deserto, quelli compresi tra 5 e 10 la vegetazione steppica, da 10 a 20 la prateria, superiori a 20 la vegetazione forestale dominante.

Tab.4 Indice de Martonne Regione di Kairouan

Mesi	T media °C	Pioggia mm	de Martonne		IRRIGAZIONE
G	11,9	31	17,2	<20	necessaria
F	12,6	21	11,2	<20	necessaria
M	15,1	36	17,3	<20	necessaria
A	17,7	22	9,3	<20	necessaria
M	22,3	36	13,5	<20	necessaria
G	26,7	22	7,0	<20	necessaria
L	29,5	9	2,8	<20	necessaria
A	30,5	1	0,2	<20	necessaria
S	26,4	49	16,0	<20	necessaria
O	21,9	41	15,5	<20	necessaria
N	16,9	27	12,0	<20	necessaria
D	13,4	24	12,2	<20	necessaria
ANNO	20,4	318	10,5	<20	necessaria

In base ai dati termo-pluviometrici e all'analisi fornita dai due indici agro-climatici (Tab.3 e 4; Fig.7) è evidente che la regione in esame è caratterizzata, secondo la classificazione di Köpper, da un clima semi-arido o mediterraneo-arido, in quanto le precipitazioni superano leggermente i 250 mm e sono costantemente inferiori all'evaporazione.

2.2. Descrizione aziendale

L'analisi del suolo aziendale è partita dall'osservazione empirica del comportamento delle diverse colture in tre macro-settori caratterizzati da differenti quote topografiche (Fig.8). Infatti, la superficie aziendale si estende in una leggera depressione di origine alluvionale, che, prima della bonifica operata dalla società, veniva attraversata da due corsi d'acqua a carattere stagionale e dipendenti dalle acque meteoriche.

Da ognuna delle parcelle sono stati prelevati dei campioni di suolo al fine di valutare: EC, pH e concentrazione dei diversi ioni della soluzione circolante. Successivamente, si è studiato l'andamento della salinità nell'intero corpo aziendale, effettuando un raggruppamento delle parcelle appartenenti ai 3 macro-settori

(Fig.9). L'analisi della varianza dei 3 ioni più rappresentati (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) e dell'EC (Tab.5) dimostra delle leggere differenze significative nei 3 settori per quanto riguarda EC, Na^+ , SO_4^{2-} mentre per lo ione Cl^- vi è sicuramente meno variabilità all'interno dei medesimi settori e una differenza molto significativa tra di essi (Fig.10, 11,12,13).

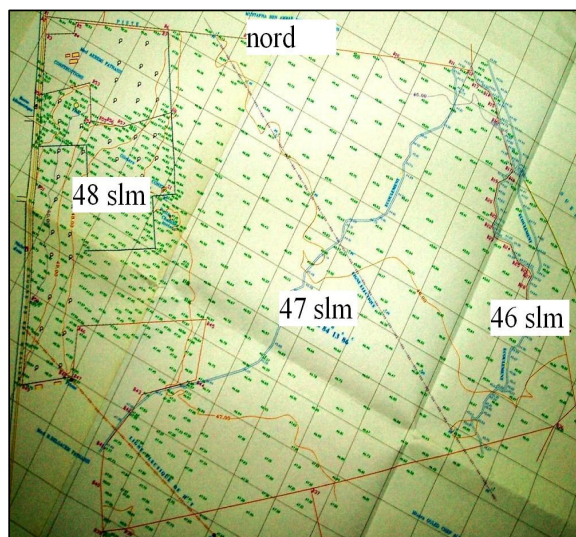


Fig.8 Cartina Topografica Azienda Ascheri Fresh Erbs



Fig.9 Mappa particelle aziendali e divisione in settori

Tab.5 Analisi della varianza dei suoli aziendali per EC,SO₄²⁻, Na⁺,Cl⁻

SUOLI	EC(mS\cm)		SO ₄ ²⁻ (ppm)		Na ⁺ (ppm)		Cl ⁻ (ppm)	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	8,6	7,0	2802,9	1636,6	800,5	874,7	260,7	236,3
2	12,3	5,7	3480,3	1439,9	710,2	1072,9	357,1	250,8
3	16,4	6,4	4416,0	710,9	920,2	1670,7	872,7	989,5
P-value(test Bartlett)		0,78		0,07		0,71		6,28E-007

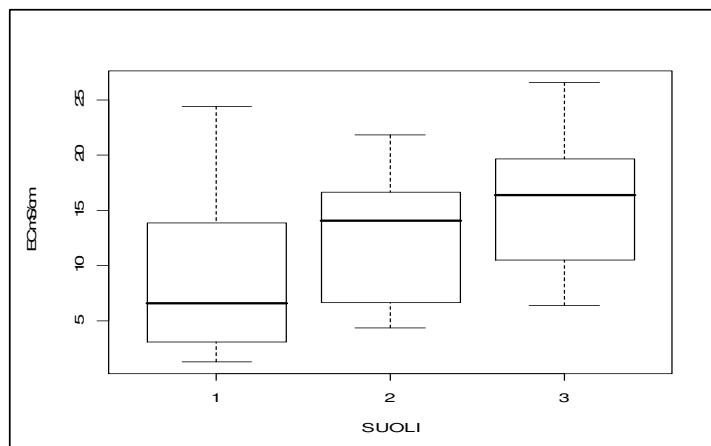


Fig.10 Box plot per EC (mS\cm) nei suoli aziendali

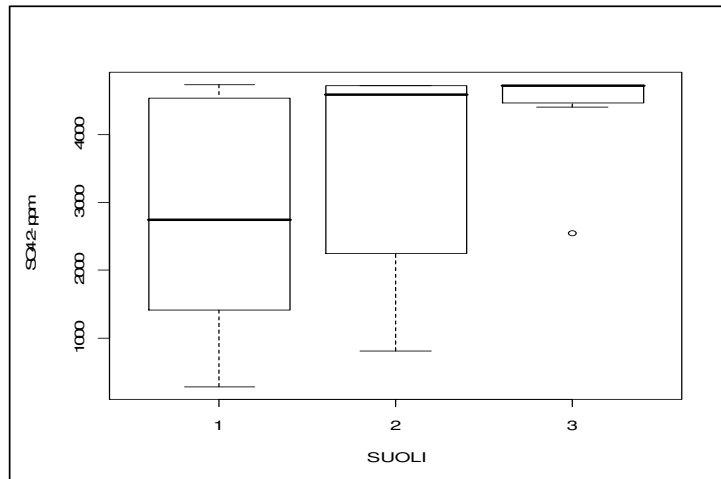


Fig.11 Box plot per SO_4^{2-} (ppm) nei suoli aziendali

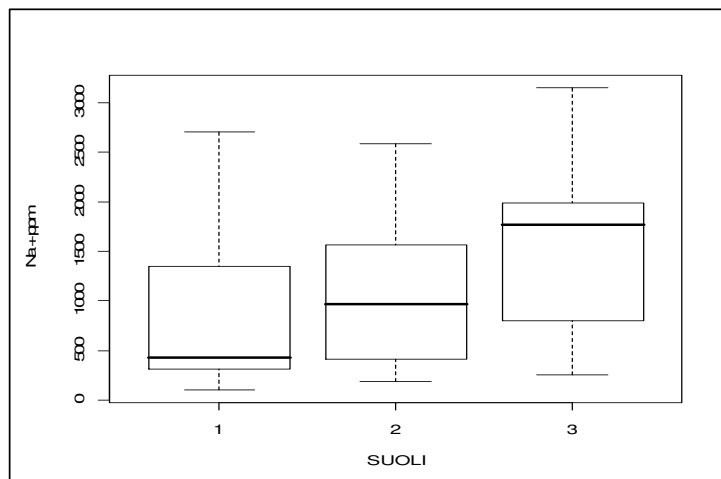


Fig.12 Box plot per Na^+ (ppm) nei suoli aziendali

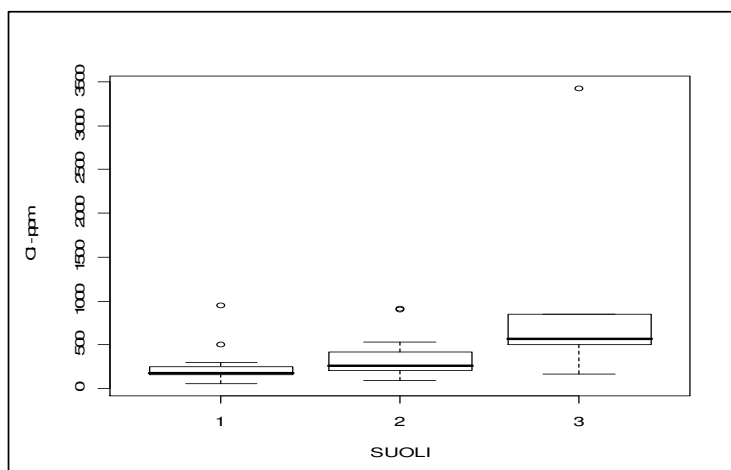


Fig.13 Box plot per Cl⁻ (ppm) nei suoli aziendali

Presso l'università dell'ESAK (Ecole Supérieure d'Agriculture du Kef) sono stati analizzati i campioni di suolo per la determinazione della tessitura, sostanza organica, conducibilità e analisi dell'estratto saturo.

Per le analisi fisiche e per la sostanza organica ci si è attenuti ai metodi ufficiali di analisi chimiche e fisiche del suolo ([D.M. 13/09/99](#))

Le determinazioni di elementi nutritivi nell'acqua irrigua e nel suolo sono state effettuate secondo i Metodi Ufficiali per l'Analisi delle Acque per Uso Agricolo e Zootecnico ([D.M. 23/3/2000](#)). Le concentrazioni di cationi sono state misurate attraverso atomizzazione in fiamma e misura dell'assorbanza da lampada a catodo cavo specifica (Spettrofotometro Philips mod. PU 9200. Le concentrazioni di anioni sono state misurate mediante Spettrofotometria ad assorbimento molecolare (Spettrofotometro Philips mod. PU 8720 UV-Visibile).

Dall'analisi tessiturale, secondo la classificazione USDA, il suolo risulta essere Argilloso.

Tuttavia l'elevata densità apparente che si riscontra può essere giustificata dal cospicuo contenuto in Sabbia e dalla perdita della struttura dovuta all'eccesso di Na (Tab.6; Fig.14)

Dal punto di vista chimico il suolo può essere classificato come salino-sodico, in quanto presenta conducibilità superiore a 4 dS/m, dovuta all'elevata concentrazione nella soluzione circolante principalmente di solfati, cloruri, carbonati e sodio e pH, tipico dei suoli delle regioni a clima arido e semi-arido, intorno ad 8,5 (Tab.7).

Granulometria		d.a.		Porosità
%S	%L	%A	kg/dm ³	%
38,9	10,0	51,1	1,5	0,4

Tab.6 caratteristiche fisiche suolo in esame



Fig.14

ESTRAZIONE ACETICA 1:5		
pH		8,5
CONDUCIBILITÀ	mS/cm(25°T)	11,2
AZOTO NO3	(N) mg/dm3	83,0
AZOTO NH4	(N) mg/dm3	0,0
FOSFORO P04	(P)mg/dm3	0,0
POTASSIO	(K)mg/dm3	149
CALCIO	(Ca) mg/dm3	2404
MAGNESIO	(Mg) mg/dm3	422
SOLFATI	(S04)mg/dm3	3784
SODIO	(Na) mg/dm3	1303
CLOLURI	(Cl) mg/dm3	743,0
FERRO	(Fe) mg/dm3	10,3
BORO	(B)mg/dm3	12,7
MANGANESE	(Mn)mg/dm3	4,9
RAME	(Cu) mg/dm3	1,0
ZINCO	(Zn) mg/dm3	1,4
NITRITI	(NO2) mg/dm3	4,7
S.O. %		0,8

Tab.7 Caratteristiche chimiche suolo in esame

L'analisi dell'acqua irrigua è un presupposto fondamentale per la produzione in serra del basilico presso l'Ascheri Fresh Erbs: è necessaria per evitare eventuali fenomeni di fitotossicità per le coltivazioni, per razionalizzare la concimazione (soprattutto nel caso della fertirrigazione) ed è stata determinata sulla decisione di installare un impianto di desalinizzazione. Infatti, la risorsa idrica sfruttata in azienda è esclusivamente di origine sotterranea, provenendo da 4 pozzi che convogliano le acque estratte in dei bacini (Fig.15). Successivamente, l'acqua viene sottoposta ad un trattamento d'osmosi inversa per eliminare i sali in eccesso (Fig.16) e convogliata tramite 3 pompe alle diverse serre e parcelle aziendali (Fig.17) .

L'osmosi inversa è un processo di separazione dei soluti (sali disciolti) dal solvente (acqua) per mezzo di membrane semipermeabili denominate "membrane osmotiche".

Queste apparecchiature permettono il passaggio della sola acqua, mentre lo inibiscono a minerali disciolti, batteri e virus. A differenza di altri tipi di filtrazione, dove tutta l'acqua attraversa il filtro portandolo in breve tempo a saturazione e/o al ricambio, nell'osmosi inversa parte dell'acqua viene scaricata concentrata di tutte le sostanze trattenute, permettendo così un "lavaggio" in continuo della superficie di permeazione, che garantisce l'esercizio dell'impianto per lungo tempo prima di procedere ad un lavaggio chimico vero e proprio delle membrane (Fig.18). Il materiale che le compone è un film sottile poliammidico composito a struttura spiralata con elevata resistenza all'invecchiamento, all'attacco microbiologico, con una buona stabilità termica (fino a 45°C) e ottima resistenza a pH che può variare da 2 a 12 senza danneggiare le stesse.

A differenza dei demineralizzatori tradizionali, l'osmosi inversa non richiede l'impiego di prodotti chimici (acidi – alcali) e non genera conseguentemente acque inquinate di rifiuto che necessitino trattamenti depurativi o costi di smaltimento.

		OSM.	NON OSM.
pH		6,2	7,2
CONDUCIBILITÀ	mS/cm(25 °T)	0,2	3,2
AZOTO NO3	(N) mg/dm3	0,6	1,2
AZOTO NH4	(N) mg/dm3	0,1	0,1
FOSFORO P04	(P)mg/dm3	0,0	0,0
POTASSIO	(K)mg/dm3	0,0	11,9
CALCIO	(Ca) mg/dm3	6,0	211,0
MAGNESIO	(Mg) mg/dm3	1,0	47,0
SOLFATI	(S04)mg/dm3	16,0	659,0
SODIO	(Na) mg/dm3	21,0	377,0
CLORURI	(Cl) mg/dm3	37,0	591,0
FERRO	(Fe) mg/dm3	0,0	0,0
BORO	(B)mg/dm3	0,5	0,5
MANGANESE	(Mn)mg/dm3	0,0	0,0
RAME	(Cu) mg/dm3	0,0	0,0
ZINCO	(Zn) mg/dm3	0,0	0,0

Tab.8 Caratteristiche chimiche acqua

Si può facilmente osservare dalla Tabella 8 come l'acqua in entrata (non osmotizzata) venga trasformata, grazie al suddetto trattamento, in un' acqua oligo-minerale. In tal modo, l'azienda riesce ad ovviare sia ai problemi comportati dall'irrigazione con acque salmastre, sia anche all'accumulo di una salinità secondaria che andrebbe ulteriormente ad aggravare le condizioni di fertilità dei suddetti suoli.



Fig.15 Bacini di stoccaggio acqua d'irrigazione



Fig.16 Filtri Osmosi inversa



Fig.17 Pompe di distribuzione acqua desalinizzata

Le condizioni ideali di sviluppo del basilico sono temperature comprese tra i 14 e i 28 C°, (ma si adatta bene a temperature ben più elevate e sub-vegeta in condizioni di temperatura inferiori alla minima indicata), umidità relativa tra il 55% e il 75%. All'aumentare della lunghezza fotoperiodica, aumenta proporzionalmente l'indice di produzione di biomassa, ma anche la salita a fiore che può essere limitata dosando bene le irrigazioni.

Vista l'estrema delicatezza delle foglie, la scarsità di prodotti chimici autorizzati e la molteplicità dei patogeni, è fondamentale modificare e condizionare in tal senso i parametri climatici in serra.

L'utilizzo di riscaldatori e circolatori d'aria, riducono il rischio di condensa, la presenza di estrattori d'aria favorisce maggiore ventilazione per evitare temperature estreme ed assicurare un'adeguata concentrazione di CO₂. E' certo che l'optimum si raggiunge con la combinazione di circolatori d'aria, estrattori e riscaldatori.

La tecnica colturale prevede 2 cicli di basilico all'anno per una durata complessiva di 8 mesi, cui segue la disinfezione tramite vapore acqueo ad alte temperature, con apposite macchine (generatori di vapore) che lo iniettano nel terreno (opportunamente coperto con film plastici e per mezzo di un sistema di tubi)

.La sua azione è limitata agli strati più superficiali del terreno (10 - 15 cm) ed è per questi motivi che si presta a colture da reddito e con apparato radicale superficiale come il Basilico.

La fertilizzazione è effettuata con concimi e ammendanti ammessi in Agricoltura Biologica, in particolare si effettuava una concimazione di fondo con stallatici pellettati con titolo NPK 4.4.4 alla dose di 15-20 q\ha e successivamente si interveniva in fertirrigazione, con concimi organici fluidi a base di cernicci, con titoli in azoto organico intorno all' 8%.

L'irrigazione veniva eseguita sia tramite ala gocciolante sia aspersori (Tab.9). Il primo metodo garantisce sicuramente una tecnica irrigua più accurata ed efficiente, con enormi vantaggi rispetto all'aspersione durante il periodo invernale per prevenire l'insorgere delle malattie fungine grazie alla minore bagnatura fogliare.

Le produzioni variavano a seconda dell'andamento fitosanitario della coltura, con picchi di oltre i 60 q.li di prodotto fresco a meno di 20 q.li. L'andamento medio si aggirava per un ciclo di 120-150 giorni intorno ai 50 q.li di prodotto fresco.

Tab.9 Caratteristiche materiale d'irrigazione

	l/h	m²	n °/m²	mm/h
ASPERSORI	120	8,3	0,12	14,44
PUNTO GOCCIA	0,88	0,05	20,83	18,33

2.3. Descrizione del modello simbil

Il programma SIMBIL (Simulazione Bilancio idrico) è stato appositamente studiato per semplificare al massimo gli input necessari e l'uso da parte dell'agricoltore, ma gli algoritmi richiesti dalle varie funzioni non sono per questo necessariamente semplificati. A tale proposito sono state effettuate ampie verifiche nel 1999 e nel 2000 per trovare un buon compromesso tra algoritmi semplici (stabili in varie situazioni e di facile programmazione, ma poco adattabili e poco accurati) e algoritmi complessi (a maggior rischio di instabilità, di difficile programmazione, che richiedono molti parametri, ma adattabili ed accurati).

Il modello si caratterizza per:

richiesta di input facilmente ottenibili in azienda, estrema facilità d'uso, impiego di risultati di sperimentazioni locali relativamente a fenologia della crescita, valutazione degli effetti dello stress idrico su crescita e produzione, simulazione dello sviluppo degli apparati fogliari e radicali.

Nel contempo esso garantisce:

previsioni orientative del momento e dell'altezza dell'intervento irriguo, possibilità di scegliere diversi piani di irrigazione in relazione ai diversi obiettivi (pieno soddisfacimento, risparmio idrico più o meno accentuato, gestione dello stress idrico per ottenere produzioni di qualità), gestione di diverse colture (per ora mais, tabacco, pomodoro, melone, pesco, erba medica), possibilità da parte dei tecnici di ampliare la banca dati delle colture inserendo i parametri dalla letteratura, elasticità di gestione (opzione per calcolare il bilancio anche se non è stato possibile effettuare l'irrigazione nel giorno indicato) ([Acutis et al, 2000](#)).

Il modello Simbil ricalca semplificandolo notevolmente, poiché limitato alla sola gestione dell'irrigazione, il diffusissimo modello americano CropSyst ([Stöckle e Nelson, 1994](#)), integrandolo per la più ampia gamma di possibilità di gestione dell'irrigazione che offre.

Da un punto di vista agronomico e idrologico i processi simulati sono:

1- determinazione dei consumi idrici calcolando l' E_t , secondo Hargreaves et al. (1985), moltiplicandola per i coefficienti culturali K_c ([da letteratura, Doorembos e](#)

[Pruitt, 1977](#)) modificati secondo i risultati delle sperimentazioni che mirano alla calibrazione locale di funzioni che tengono conto di somme termiche, LAI e Kc);

2- determinazione della riduzione di assorbimento dovuta a carenza idrica nel suolo ([secondo Lövenstein et al., 1992](#)) seguendo questo approccio: si ipotizza che al di sotto dell'umidità critica la pianta riduca la traspirazione linearmente fino a 0 al punto di appassimento; in Simbil il limite critico è considerato una caratteristica di ogni coltura ed è espresso in termini di percentuale di acqua utile. In realtà Lövenstein et al. (1992) riportano che la riduzione della traspirazione reale rispetto a quella massima dipende dal valore di quest'ultima. Infatti, con scarsa acqua disponibile per la pianta, è possibile far fronte ad una richiesta evapotraspirativa modesta, ma non ad una elevata; questo comportamento è probabilmente legato al valore di flusso idrico che il terreno consente verso le radici, che decresce esponenzialmente con l'essiccamento del terreno a causa dell'aumento del potenziale matriciale del terreno stesso.

3- dinamica dell'acqua nel suolo secondo il modello a serbatoi (l'acqua si muove verso il basso quando in uno strato si è superata la capacità di campo); Stockle et al. (1997) ritengono che l'approccio a serbatoi sia da considerarsi limitante solo nelle situazioni in cui si verificano apporto di falda considerevole, forti discontinuità granulometriche, ruscellamento, flussi preferenziali, mentre nella gran parte delle situazioni l'approccio che prevede la risoluzione dell'equazione di Richards, non si rivela, ai fini pratici, di molto superiore all'approccio a serbatoi.

4- risposta allo stress idrico: chiusura stomi; riduzione traspirazione; riduzione fotosintesi; riduzione crescita, LAI e radici; riduzione durata fenofasi; riduzione produzione ([Lövenstein et al 1992](#)).

2.4. Impostazione della prova

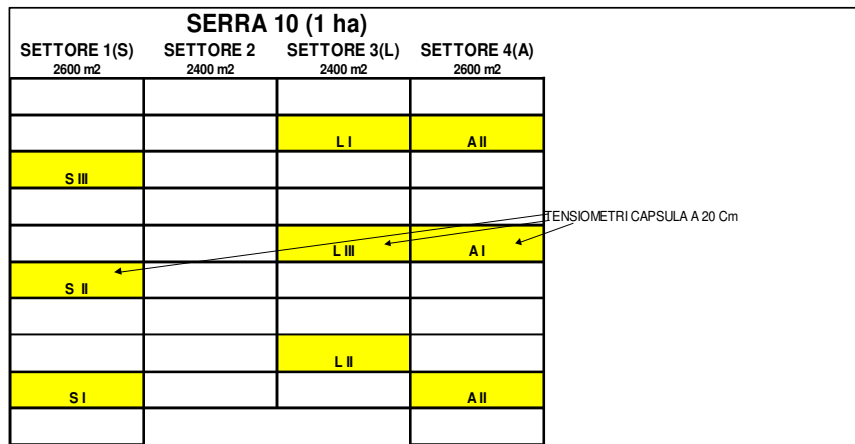


Fig.18 Area prova

La prova è stata svolta in una serra riscaldata di circa 1 ha (Fig.18). Il trapianto è stato effettuato in data 08\01\2008 con circa 20 piante/m². I dati colturali sono stati rilevati in 3 porzioni della serra di circa 250 m², in ognuno di questi settori sono stati installati dei tensiometri a capsula di ceramica per le misurazioni del potenziale idrico del suolo integrate dalle determinazioni gravimetriche dell'umidità su campioni di suolo precedentemente essiccati in stufa a 105 °C.

I dati climatici per il calcolo dell'ET₀ sono stati rilevati giornalmente dalla stazione agro-meteorologica aziendale, dalla data del trapianto fino alla raccolta avvenuta il 13\05\09

3. RISULTATI

3.1. Calibrazione del modello

La calibrazione del modello parte dall'immissione di alcuni dati di base del sistema atmosfera-suolo-acqua-pianta (Tab.10).

In particolare per il suolo vengono richiesti al fine di calcolare la RFU e fare la stima delle caratteristiche idrologiche, le classi granulometriche, sostanza organica e densità apparente.

Mentre per la pianta sono stati immessi dei parametri di temperatura che rispecchiano quelli di una coltura macroterma ed un K_c massimo di 0,8 poiché la copertura vegetale è totale solo durante le ultime fasi precedenti la raccolta. Le somme termiche per fioritura e raccolta sono identiche in quanto il ciclo colturale prevede che la raccolta venga effettuata al massimo sviluppo della biomassa, quindi quasi in corrispondenza della fioritura.

Di fondamentale importanza sono le informazioni riguardo la tecnica irrigua da attuare. Nel nostro caso, viene impostato un valore minimo di umidità del suolo (70%) al di sotto del quale il programma esegue l'irrigazione. Il limite critico di umidità, fissato al 30% dell'Acqua utile (AU) rispecchia le condizioni standard di una coltura sensibile allo stress idrico. Successivamente, vengono richiesti i dati del sistema d'irrigazione al fine di calcolare l'efficienza del metodo irriguo, che è stato impostato al 95 % trattandosi di irrigazione localizzata.

Tab.10 Dati di calibrazione del modello

RFU	% vol
Capacità di campo	39,80
Punto di appassimento	28,00

Parametro	valore
cardinale minimo (°C)	10
cardinale max (°C)	35
Somma termica emergenza (°C)	50
Somma termica fioritura (°C)	1600
Somma termica raccolta (°C)	1600
Profondità max radici (m)	0,30
Valore max coeff. colturale	0,80
limite critico umidità (% A.U.)	30

3.2 Valutazione dei fabbisogni di lisciviazione

La scelta del volume irriguo è stata fatta in modo da garantire il fabbisogno di lisciviazione (LR).

Tra i metodi usati per definire il fabbisogno di lisciviazione, è stato scelto quello riportato da [Caliandro \(1999\)](#) e messo a punto negli USA nel 1954, l'LR è stato calcolato come frazione percentuale rispetto al volume normale di adacquamento sulla base dei rapporti:

$$LR = ECw / ECmax$$

dove $ECw = 0,3 \text{ dS/m}$ (valore dell'acqua d'irrigazione dopo trattamento di osmosi inversa)

$ECmax = 2 \text{ dS/m}$ (conducibilità limite per specie mediamente sensibili come il Basilico)

$$LR = 0.3/2.0 = 15\% \text{ Volume}$$

Nei parametri del sistema è stato impostato che il limite d'umidità del suolo non deve scendere al di sotto del 70%, di conseguenza il range percentuale di AU (acqua utile) corrisponde, in condizioni normali, al 30 % del volume.

L'applicazione del fabbisogno di lisciviazione, viene valutata dal programma come una maggiorazione della percentuale di acqua utile tale che:

$$LR = 30\% \times 15\% = 5\% \text{ AU}$$

In base a tale calcolo il programma consiglia di attuare un metodo irriguo che aumenti il limite massimo di AU da 100 a 105% (Tab.11)

Tab.11 Dati metodo irriguo

	TEORICA	REALE	TEORICA+5%
data inizio simulazione	08/01/2008	08/01/2008	08/01/2008
data fine simulazione	13/05/2008	13/05/2008	13/05/2008
altezza stagionale di irrigazione (mm)	282,4	317,4	323,3
numero di interventi irrigui	33	56	33
numero medio di giorni tra interventi	3,8	2,3	3,8
percolazione mm	.	44,4	39,6
tipo di irrigazione	Min-Max	asciutto	Min-Max
% ripristino	-	-	-
mm deficit	-	-	-
mm per turno	-	-	-
turno giorni	-	-	-
% acqua utile minina	70	-	70
% acqua utile massima	100	-	105

3.3. Applicazione del modello e confronto con i dati aziendali

Il confronto fra i dati aziendali e quelli simulati dal Modello SIMBIL (Fig.19) può essere commentato attraverso le osservazioni di varie fasi:

1. Fase iniziale (trapianto-febbraio): i volumi di adacquamento effettuati in azienda superano quelli consigliati dal programma, con conseguente aumento dell'umidità in percentuale di volume.

Effettivamente, nei primi stadi della coltura è preferibile applicare dei volumi disciuvanti per abbassare la concentrazione di sali nella soluzione circolante al fine di evitare stress nelle prime fasi del ciclo durante le quali le piantine sono più sensibili.

2. deficit idrico(marzo-aprile): durante questa fase, le irrigazioni effettuate non eguagliano quelle consigliate. per ridurre il fronte di umettamento per problemi fitosanitari legati alla diffusione di una tracheomicosi.

3. ultima fase (aprile-maggio): i valori rilevati di umidità del suolo e quelli calcolati sono molto simili. Tale dato verrà dimostrato accuratamente dall'analisi statistica del modello.

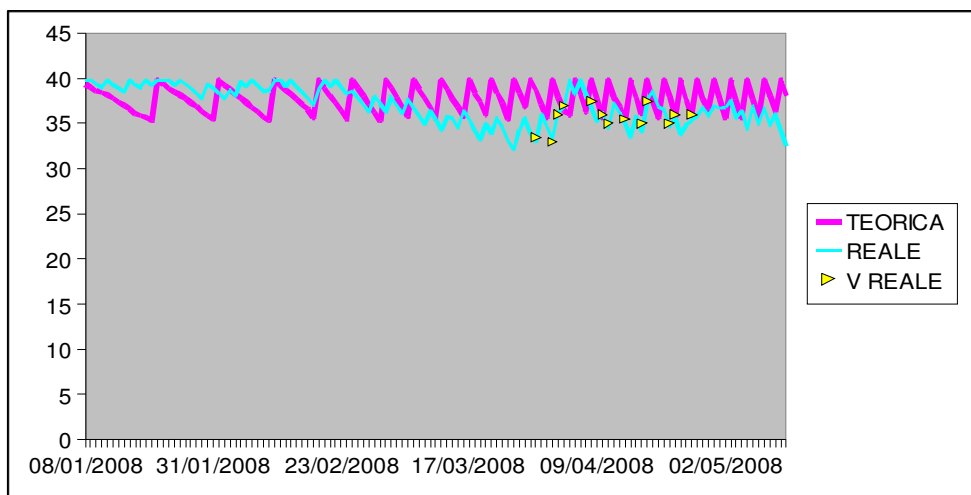


Fig.19 Confronto fra i Dati Aziendali e quelli simulati dal Modello SIMBIL

3.4. Analisi statistiche e validazione del modello

Per valutare la bontà del modello e la sua capacità di stimare i valori delle variabili di stato sono possibili differenti metodi raggruppabili in tre grandi categorie: tecniche visive, misure di scostamento, test statistici.

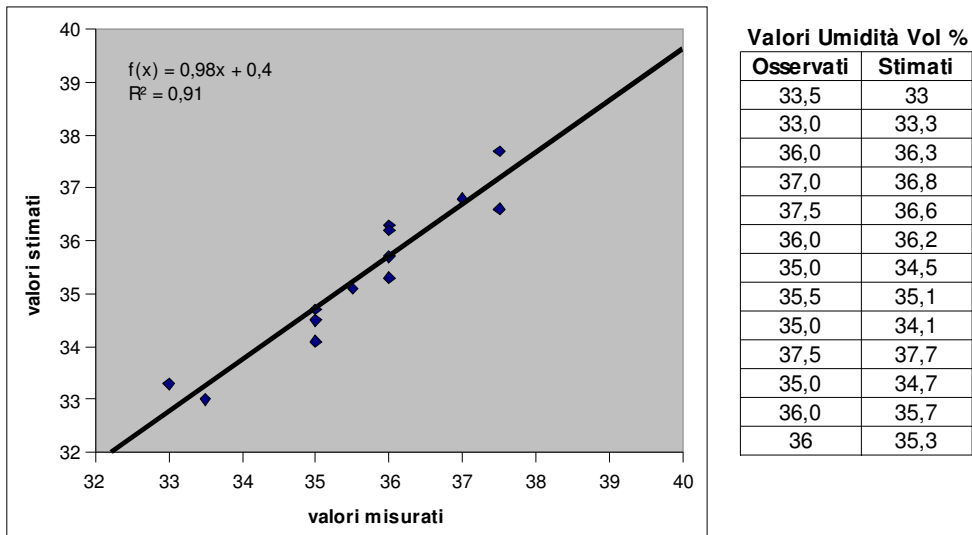


Fig.20 Confronto valori misurati e valori stimati

Con il primo metodo si ha l'immediata verifica se il modello ricalca l'andamento naturale della realtà (Fig.20), tuttavia per oggettivare questa valutazione si può ricorrere pertanto a dei numeri in grado di descrivere quantitativamente la distanza fra simulazione e realtà, denominati misure di scostamento. nel nostro caso si è scelto l'RMSE (Root Mean Square Error) scarto quadratico medio, definito come:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

dove \hat{y} sono i valori simulati e y quelli osservati.

Nel modello in esame l'RMSE rappresenta l'errore che bisogna aspettarsi se i valori di umidità si fossero calcolati anziché misurarli. Nel nostro caso l'errore è : **1,8**

La stima dell'RMSE aumenta di significato se relazionata al valore medio dei dati osservati, infatti il rapporto RMSE/MEDIA ci indica un errore del modello di: 5%.

Tra i test statistici è stato preso in considerazione l'EF o modelling efficiency, definita come:

$$EF = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

dove \hat{y} sono i valori simulati, y quelli osservati e \bar{y} la media dei valori osservati

Si può notare come esso sia del tutto analogo al coefficiente di regressione R², e come quindi esso esprima la variazione attorno alla linea di perfetta sovrapposizione $y = \hat{y}$.

Nel caso di modello perfetto l'EF varrà 1, e si allontanerà sempre più da questo valore peggio il modello simulerà la realtà.

Un difetto di EF è che essa non ha una distribuzione nota e che è dunque impossibile stabilire una soglia al di sotto della quale il modello non è accettabile.

Nel nostro caso l'EF risulta essere pari a 0.85, che indica una buona correlazione fra i valori misurati e quelli stimati dal modello SIMBIL.

4. CONCLUSIONI

Risulta evidente che l'uso sostenibile della risorsa idrica, in particolar modo in paesi aridi o semi aridi come la Tunisia, è particolarmente importante per salvaguardare le risorse naturali e garantire lo sviluppo dell'agricoltura. L'azienda *Ascheri Fresh Erbs*, rappresenta un'eccezione rispetto al panorama delle aziende irrigue sul territorio Tunisino. Infatti, oltre alla moderna struttura di desalinizzazione delle acque sotterranee, l'intera superficie aziendale gode di impianti irrigui ad elevata efficienza e di un sistema di controllo e gestione dell'irrigazione estremamente all'avanguardia. Tale assetto tecnologico ha rappresentato un valido aiuto allo svolgimento del progetto di ricerca. In questo contesto l'inserimento di un software di gestione dell'irrigazione, quale SIMBIL, può avvantaggiare ulteriormente la tecnica irrigua aziendale. Infatti, il programma SIMBIL, opportunamente calibrato, ha risposto pienamente alle diverse necessità irrigue, proprie di suoli salino-sodici, soddisfacendo l'obiettivo della prova.

5. BIBLIOGRAFIA

Acutis M., F. Quaglietta Chiarandà, M.I. Sifola, M. Fagnano, G. Merola, A. Zarone, C. Conte, A. Punzo, L. Postiglione, 2000. PROGRAMMA SEMPLIFICATO PER LA GESTIONE DELL'IRRIGAZIONE ("SIMBIL"): APPLICAZIONE A COLTURE DI MAIS E TABACCO. POM B19 Modelli di agricoltura sostenibile per le pianure meridionali: gestione delle risorse idriche nelle pianure irrigue"

Al-Tahir O.A., Al-Nablusi Y.A., Helaia A.M., 1997. Effects of water quality and frequency of irrigation on growth and yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) Agric. Water Manag., 34, 17-24.

Altman A., 1999. Plant biotechnology in the 21st century: the challenges ahead. Electronic Journal of Biotechnology, Vol.2, n.2.

Barbieri G., De Pascale S., 1992. Salinità dell'acqua di irrigazione e colture ortofloricole. Colture Protette n.2.

Barbieri G., De Pascale S., Sifola M.I., 1994. Effetti della frequenza di irrigazione sulle funzioni di risposta produttiva della melanzana alla salinità. Riv. Agron., 28, 235-246.

Bernstein L., 1961. Osmotic adjustments of plants to saline media. I. Steady State. Am. J. Bot. 48: 909-918.143

Bernstein L., 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. Ann. Rev. Plant Pathol.13: 295-320.

Bernstein L., Francois L.E., 1975. Effect of frequency of sprinkler with saline water compared with daily drip irrigation. Agron. J., 67, 185-190.

Caliandro A., 1999. Qualità delle acque e tecnica irrigua. . In Atti Conv. POM "Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive" (Tarantino E., Perniola M., Ed), Foggia, 5/5/99, 23-36.

Cavazza L., Chisci G.C., Fierotti G., Lauciani E., 1984. Aspect of irrigation and drainage in problem soils in Italy. Proceed. 12th Cong. ICID/FAO, 28/5-2/6 Fort Collins, Colorado, 333-343.

Dalton F.N.; Maggio A., Piccinni G., 2001. Assessing the effect of solar radiation on plant salt tolerance as defined by the static and dynamic indices. Plant Soil, 229, 189–195, 2001.

D.M. Del 13/09/99 “Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo”

D.M.Del 23/03/00"Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico"

Doorembos J., Pruitt W.O., 1977 Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and drainage paper n 24. Fao, Roma, 156

Formattato: Rientro: Sinistro:
0.6 cm

Fierotti G., Dazzi C., Tusa D., 1999. Riflessi dell'irrigazione con acque saline sulla qualità dei suoli. In Atti Conv. POM "Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive" (Tarantino E., Perniola M., Ed), Foggia, 5/5/99, 7-22.

Flowers T. J., Hajibagheri M. A., Clipson T., 1986. Halophytes. Q. Rev. Biol. 61: 313.

Hamdy A., 1990. Management practices under saline water irrigation. Acta Hortic., 2, 278

Hamdy A., 2002. Saline irrigation management for a sustainable use. In "Mediterranean crop responses to water and soil salinity: ecophysiological and agronomic analyses". CHIEAM, Bari, Options méditerranéées, B, 36, 185-230.

Helalia A.M., Al-Tahir O.A., Al-Nablusi Y.A., 1996. The influence of irrigation water salinity and fertilizer management on the yield of Alfalfa (*Medicago sativa* L.). Agric. Water Manag., 31, 105-114.

Greenway H. and Munns R., 1980. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31: 149–190.

Katerji N., van Hoorn J.W., Hamdy A., Mastrorilli M., 2002. Use of non-conventional water resources as a freshwater saving practices. In "Mediterranean crop responses to water and soil salinity: ecophysiological and agronomic analyses". CHIEAM, Bari, Options méditerranéées, B, 36, pag.280.

Kovda V. A., 1977. Arid land irrigation and soil fertility: problems of salinity, alkalinity, compaction. Arid Land Irrigation in Developing Countries. Pergamon Press, Oxford.

Letey J., Dinar A., Knapp K.C., 1985. Crop water production function model for saline irrigation waters. Soil Sci. Soc. Am. J., 49, 1005-1009.

Longstreth D. J. and Nobel P. S., 1979. Salinity effects on leaf anatomy, consequences for photosynthesis. Plant Physiology 63: 700-703.

Losavio N., Mastrolilli M., Ventrella D., 1999. Principi e tecniche di coltivazione in condizioni di salinità. In Atti Conv. POM "Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive" (Tarantino E., Perniola M., Ed), Foggia, 5/5/99, 37-46.

Lövenstain H., Lantinga E.A., Rabbinge R., vanKeulen H, 1992. Principles of theoretical production ecology. Dept of Theoretical Production Ecology, Course book F300-001, Wageningen, 75p.

Luttge U. and Pitman M. G., 1976. Transport in Plants II, Part B, Tissues and Organs, Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. II. Springer-Verlag, Berlin.

Maas E. V. and Hoffmann G. J., 1977. Crop salt tolerance - current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE 22: 115 – 134.

Maas E. V. and Niemann H., 1978. Physiology of plant tolerance to salinity. Am. Soc. Agron. 32: 277-299.

Ministere de l'Agriculture et des Ressources Hydraulique (MARH), 1997, IX Plan de Developpement Economique et Social (1997-2001). Le developpement agricole et les ressources naturelles.

Misopolinos, N., 1990. Salinization and soil conservation physicochemical and practical aspects. Eur. Soc. Soil Conserv. (ESSC) NEWSLETTER 1, 8–9.

Mitchell J.P., Shennan C., Singer M.J., Peters D.W., Miller R.O., Prichard T., Grattan S.R., Rhoades J.D., May D.M., Munk D.S., 2000. Impacts of gypsum and winter cover crops on soil physical properties and crop productivity when irrigated with saline water. Agric. Water Manag., 45, 55-71.

Munns R., Schachtman D. P., Condon A.G., 1995. The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. Aust. J. Plant Physiol. 22, 561-569.

Nolan S. L., Ashe T. H., Martens D. C., 1982. Effect of sodium chloride levels on four foliage plants grown at two light levels. Hort. Sci. 17: 815-817.

O'Leary J. W., 1984. Physiological basis for plant growth inhibition due to salinity. Food, Fiber and the Arid Lands. Mc Guinness eds. Tucson University, Arizona.

Pereira L.S., Oweis T., Zairi A., 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agri. Water Manag.*, 57, 175-206.

Piccolo A., Pietramellara, Mbagwu JSC, 1997a. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. *Geoderma*, 75-267-277.

Pitman M. G., 1984. Transport across the root and shoot/root interactions. *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*. Ed. R. C. Staples, pp. 93-123. Wiley, New York.

Postiglione L., Barbieri G., Tedeschi A., 1995a. Long-term effects of irrigation with saline water on some characteristics of a clay-loam soil. *Riv. Agron.*, 19, 24-30.

Richards L. A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook nr. 60*, U. S. D. A.

Richards, L.A., 1969. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. USDA Agricultural Handbook No. 60, US Department of Agriculture, Washington, DC.

Singh C.S., Gupta S.K., Ram S., 1996. Assessment and management of poor quality waters for crop production: a simulation model (SWAM). *Agric. Water Manag.*, 30, 25-40

Sharma D.P., Rao K.V.G.K., 1998. Strategy for long term use of saline drainage water for irrigation in semi-arid regions. *Soil Tillage Res.*, 48, 287-295

Stöckle C.O., Nelson R., 1994. CROPSYST. Cropping System Simulation Model. User Manual. Washington State University, 145 p

Szabolcs I., 1994. Soils and salinization. Handbook of Plant and Crop Stress, Ed. M. Pessarakali, Marcel Dekker, New York, pp. 3-11.

van Genuchten M.T., 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. USDA-ARS-USSL, Research report, 121, Riverside, Ca

van Shilfgraade J., Bernestein L., Rhoades J.D., Rawlins A.S.L., 1974. Irrigation management and control. J. Irr. Drain. ASCE, 100, 321-323.

Walter H., 1961. Salinity problems in the arid zones. The adaptation of plants to saline soils. Arid Zones Res. (U. N. E. S. C. O.) 14: 129-134.

Yeo A. R., 1983. Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiol. Plant.* 58: 214-222.

Zalidis, G., Gerakis, A., Misopolinos, N., Prodromou, K., Apostolakis, A., 1999. The impact of soil and water resources management on salt accumulation in Greece. In: Leone, A.P., Steduto, P. (Eds.), *Salinity as a Limiting Factor for Agricultural Productivity in the Mediterranean Basin. Proceedings of the First Trans-National Meeting*, Naples, 24–25 March 1997, pp. 87–95.

Zeroni M., 1988. Plant tolerance of salinity in greenhouse. Physiological and practical considerations. *Acta Horticulturae* 229: 55-72..